

Weed & Turfgrass Science was renamed from both formerly Korean Journal of Weed Science from Volume 32 (3), 2012, and formerly Korean Journal of Turfgrass Science from Volume 25 (1), 2011 and Asian Journal of Turfgrass Science from Volume 26 (2), 2012 which were launched by The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea founded in 1981 and 1987, respectively.

미생물 함유 복합비료 시비에 따른 크리핑 벤트그래스의 생육

김영선^{1,4} · 이창은² · 함선규³ · 이금주^{4*}

¹효성오앤비(주), ²씨앤엘케미컬, ³대정골프엔지니어링, ⁴충남대학교 원예학과

Growth of Creeping Bentgrass by Application of Compound Fertilizer Containing Microbes

Young-Sun Kim^{1,4}, Chang-Eun Lee², Soun-Kyu Ham³, and Geung-Joo Lee^{4*}

¹Hyosung O&B Co. Ltd., Daejeon 34054, Korea

²C&L Chemical Co. Ltd., Seoul 03938, Korea

³Daejung-golf Engineering Co. Ltd., Yongin 17124, Korea

⁴Department of Horticultural Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

ABSTRACT. Superintendents have been used microbial fertilizers to improve turfgrass growth and quality and to decrease turfgrass diseases in golf course. This study was conducted to investigate the effects of compound fertilizer containing microbe (MF) on the growth and quality of creeping bentgrass with turf color index (TCI), chlorophyll index (ChI), root length, turfgrass density, clipping yield and nutrient content. Treatments were designed as follows; non-fertilizer (NF), compound fertilizer (21-17-17; CF) as control, compound fertilizer (14-6-17) containing microbe. In pot experiment, TCI and ChI of creeping bentgrass in MF plot were similar to those in CF. But clipping dry weight of MF plot increased by 39.1% compared to that of CF plot. At field experiment applied with MF treatment, TCI, ChI, root length, and nutrient content and uptake of creeping bentgrass were similar to those with CF treatment, but turfgrass density with MF higher about 7.9-15.8% than with CF. These results indicated that the application of MF improved growth and quality of creeping bentgrass by enhancing clipping yield and shoot number.

Key words: Creeping bentgrass, Compound fertilizer containing microbe, Turfgrass density, Growth and quality of turfgrass

Received on November 30, 2015; Revised on January 12, 2016; Accepted on February 6, 2016

*Corresponding author: Phone) +82-42-867-8838, Fax) +82-42-624-4068; E-mail) gjlee@cnu.ac.kr

© 2016 The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

골프코스는 잔디, 초화, 관목 및 수목 등이 식재되어 있고, 이들의 식재 방법 및 형태에 따라 코스의 디자인과 골프의 난이도가 좌우된다. 이 중에서도 잔디는 골프장을 구성하는 가장 중요한 식물로서 골프장의 품질과 코스를 결정하는 중요한 요소이다(Ahn et al., 1992). 잔디품질은 시각적 평가와 기능적 평가 방법에 의해 구분되며, 초종, 식재 지역의 토양과 기상 조건 및 관리 방법에 따라 좌우된다(Ahn et al., 1992). 골프장에 식재된 잔디는 낮은 예고와 빈번한 깎기 작업으로 관리 과정에서 스트레스를 받게 되

므로 높은 수준의 잔디 녹색 정도와 밀도 및 생육을 유지하기 위해서는 적절한 시비가 필요하다(Ahn et al., 1992). 비료 성분 중에서도 질소는 잔디의 생육과 품질을 결정하는 매우 중요한 요인이다(Kussow et al., 2012).

시비 관리에 따른 잔디의 생육과 품질은 질소의 형태에 따라 다르며, 속효성 질소 비료보다는 완효성 질소 비료를 시비할 경우 토양 중 가용성 질소의 지속 기간이 증가하여 잔디의 생육과 품질이 향상된다(Kim et al., 2009a, 2009b). 완효성 질소 비료는 비효 지속 기간이 길고, 용탈이 적어 비료 유실이 적고, 환경적으로 안전하다는 장점을 갖고 있으나(Guillard and Kopp, 2004) 시비효과가 나타나기까지

오랜 시간이 필요하다(Kim et al., 2009a, 2009b). 따라서 기상의 악화나 잔디의 생리적 요인에 의해 뿌리 생육이 불량한 경우에는 기능성 비료나 미생물 비료를 이용하여 잔디의 생육과 품질을 유지하기도 한다.

아미노산 비료, 키토산 비료 및 사포닌 비료는 잔디의 생육과 품질 및 잔디 뿌리의 생육을 증가시킨다(Kim et al., 2003; Yoon et al., 2006; Kim et al., 2012). 이러한 기능성 비료들은 양분의 흡수와 이용을 촉진하여 잔디의 생육과 밀도를 증가시킴으로써 잔디품질을 향상시킨다(Kim et al., 2012; Kim et al., 2014). 효모균이나 유산균을 함유하는 미생물 비료의 시비 또한 잔디 뿌리의 생육을 향상시킴으로써 잔디의 생육과 품질이 증가되었다(Kim et al., 2008a, 2008b; Kim et al., 2010). 또한 유용미생물은 잔디 발의 토양 중 유기물을 분해하거나(Lim et al., 2011) 잔디의 근권에 서식하는 주요 병원균에 대해 길항성을 나타내어 잔디 발의 병 발생을 억제함으로써(Lo et al., 1996; Ma et al., 2013) 잔디 생육과 품질을 향상시키기도 한다. 이는 근권에 서식하는 미생물이 대사 과정에서 auxin이나 항균 활성 물질을 생성하거나 불용성 인산을 가용화하기 때문이다(Kim et al., 2011). 특히, 미생물 비료는 잔디 재배 시 양분 이용을 증가시켜 화학비료 시비량을 줄일 수 있고, 잔디 주요 병원균에 길항작용을 나타내어 병 발생을 예방하거나 농약의 사용을 감소시킬 수 있다(Ko et al., 2014).

미생물 비료나 길항미생물을 선발하여 잔디 관리에 이용하고자 하는 국내 연구는 2000년대 이후 꾸준히 진행되어 왔다. 그 중에서도 *Bacillus subtilis*는 토양이나 발효식품에서 쉽게 분리되는 미생물로서(Lee et al., 1998) 불용성 인산을 가용화하거나 유도저항성물질을 발생하여 식물의 생육을 촉진하고(Lee et al., 2013), 항균물질을 생성하여 작물의 주요 병원균에 대해 길항성을 나타내기도 한다(Ryu et al., 2007). 그러나 *B. subtilis*는 배지조성이나 배양시간에 따라 유도저항성물질(Ryu et al., 2007) 및 항균물질(Cho et al., 2004)의 생산량이 다르기 때문에 재배에 이용하기 위해서는 최적배양조건의 설정 및 제형화가 필요하다(McLean et al., 2005). 지금까지 연구에 이용된 미생물 비료의 제형은 주로 액상으로 잔디 성장과 생육을 위한 양분을 시비한 후에 미생물 비료를 추가로 시비하는 형태이었다(Kim et al., 2008a, 2008b; Kim et al., 2010). 비록 미생물 비료의 시비로 잔디 생육과 품질을 향상시킬 수 있었으나 잔디 관리 비용에서 인건비가 차지하는 비용이 가장 높다는 점을 고려한다면(Yoo et al., 2009) 잔디 관리 효율성을 증대시킬 수 있는 제형의 개발을 통해 시비방법을 개선하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구는 *Bacillus subtilis*가 복합비료와 함께 제

형화된 미생물 함유 복합비료를 크리핑 벤프그래스 잔디에 시비하여 생육과 품질의 변화에 미치는 영향을 알아보고자 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구는 2010년 11월부터 2011년 10월까지 12개월 동안 인천광역시 소재의 SKY72 골프클럽에서 수행되었고, 2010년 11월부터 2011년 04월까지 6개월 간의 포트시험과 2011년 06월부터 10월까지 5개월 간의 포장시험으로 구성되었다. 공시잔디로는 2006년 파종되어 약 5년간 관리된 크리핑 벤프그래스(*Agrostis palustris* Huds.) 'Pennlinks' 품종을 이용하였다. 공시토양은 USGA 규격에 맞는 모래와 코코피트를 각각 95%와 5%씩 부피로 혼합하여 사용하였다. 잔디 생육에 필요한 양분을 공급하기 위해 공시비료로는 복합비료(compound fertilizer: N-P₂O₅-K₂O: 21-17-17, (주)남해화학, 서울, 한국)와 미생물 함유 복합비료(compound fertilizer containing microbe: N-P₂O₅-K₂O=14-6-17 with *Bacillus subtilis* 1.3×10⁶ cfu g⁻¹, COMPO Co., LTD. Münster, Deutschland)를 사용하였다.

처리구 설정

처리구는 비료의 종류에 따라 무처리구(non-fertilizer: NF), 대조구[control fertilizer (N-P₂O₅-K₂O: 21-17-17): CF] 및 미생물 함유 복합비료 처리구[compound fertilizer containing microbe (N-P₂O₅-K₂O: 14-6-17 with *Bacillus subtilis*): MF]로 구분하였다. 포트시험과 포장시험에서 각각 완전임의배치법과 난괴법으로 배치하여 3반복으로 수행하였다.

시험 포트 조성 및 잔디 관리

시험용 포트는 1/5000 a 와그너포트에 파쇄자갈을 이용하여 약 2 cm 정도의 배수층을 조성하였고, 그 위에 모래와 코코피트가 균일하게 혼합된 모래 상토를 약 20 cm 정도로 채워 상토층을 조성하여 약 3일간 수돗물로 물 다짐 후 사용하였다. 물 다짐 후 상토에 복합비료(N-P₂O₅-K₂O: 21-17-17) N ai. 5.0 g m⁻²을 처리하였다. 공시잔디는 SKY72 G.C. 증식포장에서 홀커터(직경 10.8 cm)를 이용하여 채취한 크리핑 벤프그래스를 5 cm 깊이로 절단 후 와그너포트에 이식하여 사용하였다. Kussow et al. (2012)은 잔디생육에서 비료의 성분 중 잔디의 생육과 품질 및 양분의 흡수에 가장 큰 영향을 주는 성분은 질소이고, 인산과 칼륨은 그 효과가 미미하다고 보고하여 이를 근거로 본 연구에서는 질소 시비량을 기준으로 복합비료의 시비량을 결정하였다. 복합비료는 시험기간 중 12월 17일, 2월 20일, 3월 18일에

N ai. 3.5 g m⁻²씩 처리하였다. 시험기간 중 예초 관리는 가위를 이용하여 2010년 12월 17일, 2011년 3월 18일, 2011년 4월 19일에 수행하였고, 예고는 평균 15±1 mm였다. 재배기간 중 병충해는 발생하지 않아 농약은 살포하지 않았다. 시험용 포트는 한지형 잔디의 생육이 가능한 11월에는 증식포장에서 관리하였고, 12월 이후 평균기온이 15°C 이하로 감소함으로써 잔디의 생육이 불가능하여 12월 이후에는 비닐하우스에서 평균온도는 15°C 이상 유지되도록 관리하였다.

포장시험 처리구 설정 및 시험포 관리

실험 포장의 실험구 단위는 3 m² (1 m×3 m) 크기로 전체 포장은 27 m²였고, 실험구는 난괴법(3반복)으로 배치하였다. 공시비료는 2011년 6월 15일, 7월 22일, 8월 20일, 9월 20일에 N ai. 3.5 g m⁻²씩 처리하였다. 시험기간 중 예초 관리는 자주식 그린모어(GM262B-AC9, SIBAURA, Tokyo, Japan)로 주 2~3회 5.5 mm 높이로 실시하였다. 시험기간 중 통기 작업은 하지 않았으며, 배토는 3 mm 두께로 8월 30일 1회 실시하였다. 병충해 방제를 위해 테부코나졸 유제(6월 30일, 8월 26일)와 페니트로치온 유제(8월 26일, 9월 9일)를 각각 2회씩 살포하였다.

생육 조사 및 분석 방법

잔디 생육은 처리구별 엽색 지수, 엽록소 지수, 잔디 예지물량, 잔디 뿌리 길이 및 지상부와 지하부의 건물중을 조사하였다. 엽색 지수와 엽록소 지수는 각각 Turf color meter (TCM 500, Spectrum Technologies, Inc., Plainfield, IL, USA)와 Chlorophyll meter (CM 1000, Spectrum Technologies, Inc., Plainfield, IL, USA)를 이용하여 측정하였다. 포트시험은 2010년 11월 17일부터 7~10일 간격으로 총 20회, 포장시험은 2011년 6월 22일부터 7~10일 간격으로 총 16회 측정하였고, 월별 평균을 통해 잔디의 시각적 품질 변화를 조사하였다. 잔디 예지물은 7월 22일, 8월 20일, 9월 20일, 10월 15일에 총 4회 수확하였고, 수확된 잔디를 70°C 드라이오븐[VS-1203PJ-300, (주)비전과학, 부천, 한국]에서 24시간 건조한 후 건물중을 측정하였다.

포트시험에 사용된 모래상토의 적합성을 평가하기 위해 시험 전 토양을 2010년 10월 25일 채취하여 분석하였고,

포장시험에서 공시비료 처리에 의한 토양의 변화를 조사하기 위해 시험 전(2011년 6월 21일)과 시험 종료 후(2011년 10월 15일) 총 2회 실시하였으며, 토양시료의 채취는 자체 제작한 시료채취용 코어를 이용하여 표면으로부터 10 cm 깊이로 4개씩 채취하였다. 토양 분석 항목은 pH, 전기전도도(electrical conductivity; EC), 유기물(organic matter; O.M), 전질소(total nitrogen; T-N), 유효인산(available phosphate; Av-P₂O₅), 치환성 양이온(exchangeable cation; K, Ca, Mg, Na) 및 양이온 치환용량(cation exchangeable capacity; CEC) 등 이었고, 분석방법은 토양 화학 분석법(NIAST, 1998)에 준하여 실시하였다. pH와 EC는 1:5법으로, O.M은 Tyurin 법으로, T-N은 Kjeldahl 증류법으로, Av-P₂O₅는 Bray No. 1 법으로, 치환성 양이온과 CEC는 1N-NH₄OAc침출법으로 분석하였다.

식물체 분석은 포트시험에서는 수행하지 않았고, 포장시험에서만 수행하였다. 식물체 분석 시료로는 시험 종료시기인 10월 15일 채취된 잔디 예지물을 건조하여 사용하였다. 분석 영양소는 잔디 생육의 주요 구성성분인 질소, 인, 칼륨, 칼슘 및 마그네슘 등을 포함하였다. 잔디 식물체 분석은 식물체 분석법(NIAST, 1998)에 준하여 실시하였고, 질소는 Kjeldahl 증류법으로, 인은 UV-spectrophotometer (U-2800, Hitachi, Tokyo, Japan)를 이용하여 바나도몰리브덴산 법으로, 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 질산 분해 후 유도 결합 플라즈마(inductively coupled plasma (ICP); Integra XL, GBC, Victoria, Australia)를 이용하여 분석하였다. 양분 흡수는 건물중과 잔디 조직 분석 결과를 이용하여 아래 식과 같이 조사하였다(Kim et al., 2001; Kang et al., 2011).

$$\text{양분 흡수량(g m}^{-2}\text{)} = \text{건물중(g m}^{-2}\text{)} \times \text{잔디 중 양분 함량(\%)}$$

통계처리는 SPSS 12.1.1을 이용하여 Duncan 다중검정을 통해 처리구간 평균값의 유의차를 검정하였다.

결과 및 고찰

포트시험에서 잔디품질 및 생육 조사

포트시험에 사용된 토양의 pH와 전기전도도(EC)는 각각 7.27과 0.18 dS m⁻¹이고, 유기물(O.M)과 전질소(T-N) 함

Table 1. Soil chemical properties of sand before pot experiment.

pH (1:5)	EC dS m ⁻¹	O.M %	T-N mg kg ⁻¹	Av- P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	Ex-Cation				CEC
					K	Ca	Mg	Na	
7.27	0.18	0.12	0.01	21	0.03	0.84	0.15	0.14	1.70

Table 2. Changes of turf color index (TCI) and chlorophyll index (ChI) of creeping bentgrass at the pot experiment in plastic house (2010 to 2011).

Item	Treatment ^z	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
TCI	NF	6.65a ^y	6.75a	6.49a	6.60b	6.57b	6.03b
	CF	6.74a	6.96a	6.94a	7.10a	7.00a	6.95a
	MF	6.73a	6.82a	6.90a	7.15a	6.92a	6.99a
	CF × MF ^x	ns	ns	*	ns	ns	ns
ChI	NF	175a	201a	196b	204b	217b	169b
	CF	194a	261a	223a	340a	285ab	300a
	MF	178a	199a	214a	323a	312a	316a
	CF × MF	ns	ns	ns	*	ns	ns

^zTreatments were as follows. NF: non-fertilizer; CF: control compound fertilizer (21-17-17); MF: microbial compound fertilizer. CF and MF were applied at the rate of N ai. 3.5 g m⁻² rate on December 17, February 2, and March 18, respectively.

^yMeans with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% level.

^xInteraction between CF and MF treatments.

ns and * represent not significant, significant at the 0.05 probability level by T-test, respectively.

Table 3. The clipping dry weight (DW, g m⁻²) of creeping bentgrass at the pot experiment.

Treatment ^z	Dec. 17	Mar. 18	Apr. 19	Total
NF	31.7b ^y	129.6b	27.7c	188.9c
CF	46.2a	152.9ab	116.9b	316.0b
MF	55.3a	221.0a	163.1a	439.4a
CF × MF ^x	ns	**	**	**

^zTreatments were as follows. NF: non-fertilizer; CF: control compound fertilizer (21-17-17); MF: microbial compound fertilizer. CF and MF were applied at the rate of N ai. 3.5 g m⁻² rate on December 17, February 2, and March 18, respectively.

^yMeans with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% level.

^xInteraction between CF and MF treatments.

ns and** represent no significance and significance at the 0.01 probability level by T-test, respectively.

량은 각각 0.12%와 0.01%로 일반적인 모래토양의 특성을 나타내어 한지형 잔디 재배시험에 적합하였다(Table 1).

엽색 지수(turf color index: TCI)와 엽록소 지수(chlorophyll index: ChI)를 측정하여 한지형 잔디의 시각적 품질을 조사한 결과, 무처리구(NF)는 대조구(CF)와 미생물 함유 복합비료(MF)보다 낮아 CF와 MF의 처리에 의해 잔디의 시각적 품질이 증가하였다(Table 2).

NF처리구의 엽색 지수는 12월에 약간 증가한 후 시간이 경과할수록 점차 감소하는 경향을 보였고, CF처리구와 MF처리구의 엽색 지수는 12월에 증가 후 비슷한 결과를 보였다(Table 2). 처리구별 엽색 지수의 월별 변화는 1월까지의 처리구별 차이가 없었고, 2월부터 NF보다 CF처리구와 MF처리구가 높았다. 이는 NF처리구에 이식된 크리핑 벤투그래스 토양 중 양분들이 시간이 경과하면서 소실되었기 때

문으로 판단되며(Kim et al., 2008b), 토양 중 양분이 부족하면 잔디 지상부 및 지하부의 생육이 불량하게 되어 점차 엽색 지수가 감소하게 된다(Kim et al., 2010). CF처리구와 MF처리구의 엽색 지수는 시험기간 동안 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않아 비료 종류별 엽색 지수의 변화는 확인할 수 없었다.

엽록소 지수 조사결과, NF처리구는 12월까지 증가한 후 유지되거나 감소하였고, CF처리구와 MF처리구는 점차 증가하는 경향을 보였다(Table 2). 엽록소 지수는 11월과 12월은 모든 처리구에서 비슷하였고, 1월 이후부터 CF처리구와 MF처리구가 NF처리구보다 증가하여 복합비료의 처리에 의해 엽록소 지수가 증가하였다. CF처리구와 MF처리구간 엽록소 지수의 변화는 시험기간 동안 거의 비슷하였으나 3월 조사에서 MF처리구가 CF처리구보다 높았다. 이는 미생물은 적정온도에 이르렀을 때, 생육이 이뤄지나 시험기간 중 2월까지의 온도가 저온이 유지되어 미생물의 생육이 이뤄지지 않았고(Kim et al., 2015), 복합비료의 효과만 나타났기 때문에 CF와 MF가 비슷한 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

포트시험 중 잔디의 총 예지물량은 NF, CF 및 MF에서 각각 188.9 g m⁻², 316.0 g m⁻², 439.4 g m⁻²을 나타내어 MF처리구가 가장 높았다. 조사 시기 별 예지물량은 3월 18일과 4월 19일 조사에서 MF처리구는 CF처리구보다 각각 45.4%와 39.4%씩 증가하였고, 총 예지물량은 39.1% 증가하였으며, 이는 MF처리구에 포함된 *Bacillus subtilis*의 공급에 의한 것으로 판단된다. *B. subtilis*를 작물에 처리하였을 때, 땅콩에서는 병해 감소 및 환경에 대한 저항성의 증가로 생산량이 37% 정도 증가하였고(Turner and Backman, 1991), 양파에서는 지상부와 지하부의 건물중이 각각 12-94%와

Table 4. Soil chemical properties of sand before and after nursery experiment.

Treatment ^z	pH (1:5)	EC dSm ⁻¹	O.M %	T-N	Av-P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	Ex-Cation				CEC	
						K	Ca	Mg	Na		
Before	7.42a ^y	0.54a	0.64b	0.04b	47a	0.27a	1.42c	0.19b	0.11a	2.10a	
NF	7.41a	0.57a	0.94a	0.04b	24b	0.12b	4.49a	0.22b	0.14a	2.23a	
After	CF	7.43a	0.55a	0.77a	0.07a	24b	0.11b	2.88b	0.22b	0.14a	2.20a
MF	6.83b	0.36b	1.24a	0.06ab	52a	0.13b	1.74c	0.31a	0.13a	2.27a	

^zTreatments were as follows. NF: non-fertilizer; CF: control compound fertilizer (21-17-17); MF: microbial compound fertilizer. CF and MF were applied at the rate of N ai. 3.5 g m⁻² rate on June 15, July 22, August 20, and September 20, respectively.

^yMeans with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 5. The change of turf color index (TCI) and chlorophyll index (ChI) of creeping bentgrass in the nursery experiment.

Item	Treatment ^z	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
TCI	NF	6.86a ^y	7.16a	6.98a	6.88a	6.90b
	CF	6.95a	7.15a	6.91a	6.87a	7.07a
	MF	7.01a	7.08a	6.99a	6.89a	7.15a
	CF × MF ^x	ns	ns	*	ns	ns
ChI	NF	213a	262a	247a	208a	202b
	CF	252a	271a	236a	227a	286a
	MF	236a	248a	242a	210a	281a
	CF × MF	ns	**	**	ns	ns

^zTreatments were as follows. NF: non-fertilizer; CF: control compound fertilizer (21-17-17); MF: microbial compound fertilizer. CF and MF were applied at the rate of N ai. 3.5 g m⁻² rate on June 15, July 22, August 20, and September 20, respectively.

^yMeans with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% level.

^xInteraction between CF and MF treatments.

ns,* and** represent no significance and significance at the 0.05 and 0.01 probability level by T-test, respectively.

13-100% 정도씩 증가하여(Reddy and Rahe, 1989) 본 연구와 유사한 결과를 보였다. *B. subtilis*의 작물생육에 대한 메커니즘은 명확하지 않으나 병원균에 대한 길항성 및 유도저항성에 의해 작물생육이 촉진되는 것으로 판단된다(Lucy et al., 2004). Kloepper et al. (2004)는 *B. subtilis*가 병원균에 대항하는 식물방어과정에서 발생한 유도저항성물질이 peroxidase 활성도를 증가시키거나 동질효소(isozyme) 및 salicylic acid 등을 생산함으로써 식물의 병에 대한 저항성을 높이고, 대사과정에서 유도된 휘발성유기화합물(volatile organic compounds; VOCs)이 식물 중에서 auxin 유도체, gibberellin 및 cytokinin 등과 같은 식물생장호르몬을 발생하여 식물생육이 촉진된다고 보고하였다.

포장시험에서 잔디품질 및 생육 조사

시험 전과 시험 종료 후 토양화학성 분석결과, pH와 EC는 NF와 CF에서 시험 전과 비슷하였으나 MF처리구에서는 시험전보다 감소하였다(Table 4). 시험 후 MF처리구는 NF처리구보다 유기물, 질소, 유효인산 및 치환성 마그네슘

등이 높았고, 치환성 칼륨은 비슷하였다. MF처리구는 CF보다 pH, 전기전도도, 질소, 치환성 칼륨은 낮았고, 유기물, 유효인산 및 치환성 마그네슘은 높았다. 토양의 pH는 미생물의 작용(Lee et al., 2002; Lee et al., 2015)이나 질소 구성 성분(Kim et al., 2009a, 2009b) 및 질소 비료의 형태(Ham et al., 2011)에 의해 감소하는 것으로 알려져 있어, 본 시험에서는 MF에 미생물과 복합비료가 함유되어 있어 복합적인 요인으로 토양산도가 감소한 것으로 판단된다. 토양의 전기전도도가 감소한 것은 치환성 칼륨의 함량이 감소하였기 때문으로 판단된다(Kim et al., 2012).

포장시험에서 엽색 지수와 엽록소 지수를 측정하여 시각적 잔디품질을 조사하였다(Table 5). TCI와 ChI는 6~9월까지의 처리구별 차이가 없었고, 10월에 CF처리구나 MF처리구가 NF처리구보다 높았다. CF처리구와 MF처리구간에는 7월 조사에서 엽록소 지수는 CF처리구가 높았으나 8월 조사에서는 엽색 지수와 엽록소 지수 모두 MF처리구에서 높았다.

시비에 따른 잔디의 뿌리 길이 측정결과, 9월 7일 조사

Table 6. The root length and turfgrass density of creeping bentgrass in the nursery experiment.

Treatment ^z	Root length (cm)		Turfgrass density (ea cm ⁻²)	
	Sep. 7 (5 MAT ^y)	Oct. 18 (6 MAT)	Oct. 5 (6 MAT)	Oct. 18 (6MAT)
NF	7.5a ^x	8.2b	20.7b	31.3b
CF	7.4a	9.0ab	20.3b	32.7ab
MF	7.9a	9.4a	23.5a	35.3a
CF × MF ^w	ns	ns	*	*

^zTreatments were as follows. NF: non-fertilizer; CF: control compound fertilizer (21-17-17); MF: microbial compound fertilizer. CF and MF were applied at the rate of N ai. 3.5 g m⁻² rate on June 15, July 22, August 20, and September 20, respectively.

^yMAT represents month after treatment.

^xMeans with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% level.

^wInteraction between CF and MF treatments.

ns and * represent not significant, significant at the 0.05 probability level by T-test, respectively.

에서 처리구간 유의차를 나타내지 않았으나 10월 18일에는 MF처리구에서 가장 길었으며, NF처리구와 CF처리구보다 각각 14.6%와 4.4% 증가하였다. 잔디 밀도 측정결과, 10월 5일과 10월 18일 조사에서 MF처리구는 각각 23.5 ea cm⁻²와 35.3 ea cm⁻²로 가장 높았고, CF처리구보다 각각 15.8%와 8.0% 증가하였다. CF처리구와 MF처리구간에 잔디 뿌리 길이는 통계적으로 유의차를 보이지 않았고, 잔디밀도는 MF처리구에서 증가하였다.

잔디 뿌리 길이나 잔디밀도는 식물체내의 호르몬 중 auxin과 cytokinin에 의해 조절되며, auxin함량에 의해 뿌리 길이 및 잔디밀도가 증가한다(Beyl and Trigiano, 2015). 비록 본 연구에서는 auxin의 함량을 조사하지 못했으나 MF처리

Table 7. The clipping dry weight (DW, g m⁻²) of creeping bentgrass in the nursery experiment.

Treatment ^z	Jul. 22	Aug. 20	Sep. 20	Oct. 13	Total
NF	9.67a ^y	20.81a	0.41a	2.43a	33.32b
CF	15.85a	21.45a	0.35a	1.18a	38.83a
MF	10.96a	23.81a	0.49a	2.51a	37.77a
CF × MF ^x	*	ns	*	ns	ns

^zTreatments were as follows. NF: non-fertilizer; CF: control compound fertilizer (21-17-17); MF: microbial compound fertilizer. CF and MF were applied at the rate of N ai. 3.5 g m⁻² rate on June 15, July 22, August 20, and September 20, respectively.

^yMeans with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% level.

^xInteraction between CF and MF treatments.

ns and * represent not significant, significant at the 0.05 probability level by T-test, respectively.

구에서 잔디밀도가 증가한 것은 *B. subtilis*의 대사과정에서 생성된 VOCs가 식물생장호르몬의 발생을 유도하여 식물 생육을 촉진하였기 때문으로 판단된다(Kloepper et al., 2004). 또한 본 연구에서는 *B. subtilis*가 함유된 복합비료를 처리 시 잔디밀도가 증가한 반면, 유산균과 효모균을 잔디에 시비하였을 경우에는 질소 흡수 및 잔디 뿌리 길이가 증가하여(Kim et al., 2010) 미생물의 종류에 따라 다른 결과를 나타내었다.

포장시험기간 동안 생산된 잔디 총 예지물량은 34.32~38.83 g m⁻²의 범위를 나타내었고, NF처리구보다 CF처리구와 MF처리구에서 증가하였으며, CF처리구와 MF처리구는 비슷하였다. 포트시험에서는 MF처리구가 CF처리구보다 잔디 예지물이 증가하였으나 포장시험에서는 비슷한 결과를 보여 두 시험의 차이가 나타났다. 이는 포트시험에서는 시비 후 예지 작업 없이 관리되어 시비 후 생육된 잔디의 예지

Table 8. The content and uptake of nutrient of creeping bentgrass in the nursery experiment.

Item	Treatment ^z	N	P	K	Ca	Mg	Na
Nutrient content (%)	NF	3.90b ^y	0.31a	2.61a	0.51a	0.21a	0.07a
	CF	4.25a	0.36a	3.43a	0.48a	0.20a	0.07a
	MF	4.13a	0.34a	2.73a	0.51a	0.21a	0.08a
	CF × MF ^x	ns	ns	*	ns	ns	Ns
Nutrient uptake (g m ⁻²)	NF	1.30b	0.10a	0.87a	0.17a	0.07a	0.02a
	CF	1.65a	0.14a	1.33a	0.19a	0.08a	0.03a
	MF	1.56a	0.13a	1.03a	0.19a	0.08a	0.03a
	CF × MF	ns	ns	*	ns	ns	ns

^zTreatments were as follows. NF: non-fertilizer; CF: control compound fertilizer (21-17-17); MF: microbial compound fertilizer. CF and MF were applied at the rate of N ai. 3.5 g m⁻² rate on June 15, July 22, August 20, and September 20, respectively.

^yMeans with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% level.

^xInteraction between CF and MF treatments.

ns and * represent not significant, significant at the 0.05 probability level by T-test, respectively.

물이 전량 수거되었으나 포장시험에서는 주기적으로 발생 하는 예지물을 수거하지 못하고 시비 후 일정 시간이 경과 한 후 월 1회 수거하였기 때문에 포트시험과 포장시험에 서 차이를 나타낸 것으로 판단된다. 아미노산 비료와 미생 물 비료와 같은 기능성 비료의 처리에 따른 잔디 생육 및 예지물의 변화는 포트시험에서는 기능성 비료 시비에 의 해 잔디 예지물이 증가하였으나(Kim et al., 2003; Kim et al., 2008b) 포장시험에서는 대조구와 비슷하여(Kim et al., 2012; Kim et al., 2008a) 본 시험과 유사한 결과를 보였다.

포장시험에서 잔디 조직의 무기 성분 함량 및 흡수량

시험 종료 후 잔디 조직 중 무기 성분 함량은 CF처리구 와 MF처리구에서 질소 함량은 NF처리구보다 높았고, 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 및 나트륨은 NF처리구와 비슷하였다 (Table 8). 이는 질소 시비량이 동일한 경우 비료 종류에 따 라 잔디 중 질소 함량의 차이가 나타나지 않기 때문이다 (Kim et al., 2009a, 2009b; Ham et al., 2011). 반면에 아미 노산 비료나 미생물 비료와 같은 기능성 비료를 시비하는 경우에는 잔디의 질소 함유량이 증가하여 잔디품질과 생 육을 향상시키는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2003; Kim et al., 2014). 또한 질소 비료의 시비량이 증가할 수록 잔디 중 질소 함량이 증가하고, 시비 후 경과 시간이 길수록 질 소 함량은 감소하였다(Ham and Kim, 2014).

MF처리구의 잔디 중 질소 흡수량은 NF처리구보다 20% 증가하였고, 대조구인 CF처리구와 비슷한 결과를 나타내 었다(Table 7). 이는 잔디의 양분 흡수량은 산정 과정에서 잔디 예지물량과 비례하므로 잔디 예지물량이 많고, 잔디 중 양분 함량이 높을 때 증가한다는 보고와 유사한 결과이 다(Ham and Kim, 2014; Kim et al., 2014). 이를 바탕으로 누적 잔디 예지물량을 나타내는 Table 3의 포트시험결과를 근거로 잔디의 양분 흡수량을 평가하면 MF 시비로 CF처 리구보다 약 35% 정도 질소 흡수량이 증가할 것으로 판단 된다. 잔디의 질소 흡수량이 증가하면 다른 양분 흡수를 촉 진하여 잔디의 시각적 품질, 생육 및 잔디의 뿌리 성장을 촉진하나 잔디밀도에는 영향을 미치지 않는 것으로 알려 져 있다(Kim et al., 2012).

요 약

골프장의 잔디 관리자들은 잔디의 생육을 향상시키고, 코 스의 병발생을 억제하기 위해 미생물 비료를 사용해 왔다. 본 연구는 미생물 함유 복합비료를 크리핑 벤트그래스에 시비할 때, 크리핑 벤트그래스의 생육과 품질에 대한 효과 를 평가하기 위해 수행되었다. 비료의 종류에 따라 무처리구 (non-fertilizer; NF), 대조구(control fertilizer; 21-17-17, CF) 및

미생물 함유 복합비료 처리구(microbial compound fertilizer; 14-6-17, MF)로 설정하여 처리한 후 엽색 지수(TCI), 엽록 소 지수(ChI), 잔디 뿌리 길이, 잔디 예지물(건물중), 잔디 중 양분 함량 및 흡수량을 기준으로 잔디 생육과 품질을 평가하였다. 포트시험 결과, MF 처리구의 엽색 및 엽록소 지수는 대조구(CF)와 비슷하였고, 잔디 예지물은 CF처리 구보다 39.1% 증가하였다. 포장시험 결과, 토양 pH와 전기 전도도 및 치환성 칼슘 함량은 MF 처리가 CF처리구보다 감소하였다. 포장시험 후 잔디 생육 및 품질 조사에서 MF 처리구의 엽색 지수, 엽록소 지수, 잔디 뿌리 길이, 잔디 중 양분 함량 및 양분 흡수량은 CF처리구와 비슷하였고, 잔 디밀도는 CF처리구보다 8.0~15.8% 증가하였다. 이 결과들 을 종합해 볼 때, 크리핑 벤트그래스에서 미생물 함유 복 합비료의 시비는 무처리구나 대조구에 비해 잔디의 밀도 와 생육을 증가시키는 효과가 있음을 확인 할 수 있었다.

주요어: 크리핑 벤트그래스, 미생물 함유 복합비료, 잔디 밀도, 잔디품질 및 생육

References

- Ahn, Y.T., Kim, S.T., Kim, I.S., Kim, J.W., Kim, H.J., et al. 1992. Standard and practice for management in golf course. KTRI. Seongnam, Korea. (In Korean)
- Beyl, C.A. and Trigiano, R.N. 2015. Plant propagation concepts and laboratory exercises. CRC Press. New York, USA.
- Cho, S.J., Cha, B.J. and Shin, K.S. 2004. Effect of culture parameters on the production of growth inhibitory substance of *Colletotrichu gloeosporioides* from *Bacillus subtilis*. Kor. J. Mycology. 32(2):138-141. (In Korean)
- Guillard, K. and Kopp, K.L. 2004. Nitrogen fertilizer form and associated nitrate leaching from cool-season lawn turf. J. Environ. Qual. 33:1822-1827.
- Ham, S.K., Kim, Y.S. and Lim, H.J. 2011. The effect of developed SCB liquid fertilizer on the growth of Kentucky bluegrass. Asian J. Turfgrass Sci. 25(1):73-78. (In Korean)
- Ham, S.K. and Kim, Y.S. 2014. Growth effect and nutrient uptake by application interval of developed slurry composting and biofiltration (DSCB) liquid fertilizer on Kentucky bluegrass. Weed Turf. Sci. 3(4):362-369. (In Korean)
- Kang, S.S., Kim, M.K., Kwon, S.I., Kim, M.S., Yoon, S.W., et al. 2011. The effect of application levels of slurry and bio-filtration liquid fertilizer on soil chemical properties and growth of radish and corn. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(6):1306-1313. (In Korean)
- Kloepper, J.W., Ryu, C.M. and Zhang, S. 2004. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus subtilis*.

- Phytopathology. 94(11):1259-1266.
- Kim, J.W., Kim, C.H., Baeck, J.H., Lee, D.J., Choi, Y.S., et al. 2001. An introduction to soil and fertilizer. Sunjin Press, Goyang, Korea. pp. 240-258. (In Korean)
- Kim, T.S., Ko, M.J., Lee, S.W., Han, J.H., Park, K.S., et al. 2011. Antifungal and proteolytic activity and auxin formation of bacterial strains isolated from highland forest soils of Hala mountain. Korean J. Pesticides Sci. 15(4):495-501. (In Korean)
- Kim, Y.S., Ham, S.K., Kim, T.S. and Jeong, H.S. 2008a. Effects of liquid fertilizer contained fermentation of *Lactobacillus confusa* and *Pichia anomala* on growth in creeping bentgrass (*A. palustris* Huds). Kor. Turfgrass Sci. 22(1):49-56. (In Korean)
- Kim, Y.S., Ham, S.K., Kim, T.S. and Jeong, H.S. 2008b. Effects of liquid fertilizer containing medium of *Lactobacillus confusa* and *Pichia anomala* on growth in creeping bentgrass. Kor. Turfgrass Sci. 22(2):185-196. (In Korean)
- Kim, Y.S., Ham, S.K. and Lee S.J. 2010. Effects of liquid fertilizer contained medium of *Lactobacillus* sp. and *Saccharomyces* sp. on growth of creeping bentgrass. Kor. Turfgrass Sci. 23(2):138-144. (In Korean)
- Kim, Y.S., Ham, S.K. and Lim, H.J. 2012. Monitoring of soil chemical properties and pond water quality in golf courses after application of SCB liquid fertilizer. Asian J. Turfgrass. Sci. 26(1):44~53. (In Korean)
- Kim, Y.S., Ham, S.K., Lee, J.P. and Hwang, Y.S. 2012. The growth effects of creeping bentgrass by application of liquid fertilizer with saponin and liquid fertilizer with amino acid. Asian J. Turfgrass Sci. 26(1):54-59. (In Korean)
- Kim, Y.S., Ham, S.K., Lee, J.P., Hwang, Y.S. and Lee, K.S. 2014. Effects of two amino acid fertilizers on growth of creeping bentgrass and nitrogen uptake. Weed Turf. Sci. 3(3):246-252. (In Korean)
- Kim, Y.S., Ma, K.Y. and Lee, G.J. 2015. Antagonistic mechanisms and culture condition of isolated microbes applied for controlling large patch disease in zoysiagrass. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 33(4):492-500. (In Korean)
- Kim, Y.S., Lee, K.S. and Ham, S.K. 2003. The effect of liquid fertilizer contained amino acids on the growth of bentgrass (*Agrostis palustris* Huds) and the chemical characteristics of soil. Kor. Turfgrass Sci. 17(4):147-154. (In Korean)
- Kim, Y.S., Kim, T.S., Ham, S.K., Bang, S.W. and Lee, C.E. 2009a. The effect of compound fertilizer contained slow release nitrogen on turfgrass growth in Kentucky bluegrass and on nitrogen change in root zone. Kor. Turfgrass Sci. 23(1):101-110. (In Korean)
- Kim, Y.S., Kim, T.S., Ham, S.K., Bang, S.W. and Lee, C.E. 2009b. The effect of compound fertilizer contained slow release nitrogen on turfgrass growth in creeping bentgrass and on change in soil nitrogen. Kor. Turfgrass Sci. 23(1):111-122. (In Korean)
- Ko, K.Y., Kwon, J.W., Gil, G.H., Kim, G.H., Kim, S.H. et al. 2014. Agro-Chemicals & Environment. Gahyun press. Anyang, Korea. pp. 426-460. (In Korean)
- Kussow, W.R., Soldat, D.J., Kreuser, W.C. and Houlihan, S.M. 2012. Evidence, regulation, and consequences of nitrogen-driven nutrient demand by turfgrass. International Scholarly Research Network Agronomy 10:1-9.
- Lee, J.J., Kim, Y.S., Ham, S.K., Lee, C.E. and Lee, G.J. 2015. Growth and quality improvement of creeping bentgrass by two fertilizers containing *Trichoderma* species. Weed Turf. Sci. 4(3):249-255. (In Korean)
- Lee, J.Y., Hwang, K.Y., Kim, K., Sung, S.I., Park, Y.S., et al. 2002. Characteristics of antimicrobial organic acids produced by *Lactobacillus pentosus* K34 isolated from small intestines of Korean native chickens. Kor. J. Microbiol. Biotechnol. 30(3):241-246. (In Korean)
- Lee, S.K., Heo, S., Bae, D.H. and Choi, K.H. 1998. Medium optimization for fibinolytic enzyme production by *Bacillus subtilis* KCK-7 isolated form Korean traditional *Chungkookjang*. Kor. J. Appl Microbiol. Biotechnol. 26(3):226-231. (In Korean)
- Lee, Y.S., Park, D.J., Kim, J.H., Kim, H.S. and Choi, Y.L. 2013. Isolation and characterization of a novel bacterium, *Bacillus subtilis* HR-1019, with insoluble phosphates solubilizing activity. J. Life Sci. 23(2):242-248. (In Korean)
- Lim, H.J., Kim, Y.S. and Ham, S.K. 2011. Screening of cellulose decomposing microorganisms for functional improvement for SCB (Slurry composting and biofiltering) liquid fertilizer. Asian J. Turfgrass Sci. 25(1): 44-53. (In Korean)
- Lo, C.T., Nelson, E.B. and Harman, G.E. 1996. Biological control of turfgrass diseases with a rhizosphere competent strain of *Trichoderma harzianum*. Plant Disease. 80(7):736-741.
- Lucy, M., Reed, E. and Glick, B.R. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. Antonie van Leeuweboek. 86:1-25.
- Ma, K.Y., Kwark, S.N. and Lee, G.J. 2013. Isolation and selection of antagonistic microbes for biological control of zoysiagrass large patch disease. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 31(6):657-665. (In Korean)
- Mclean, K.K., Swaminathan, J., Frampton, C.M., Hunt, J.S., Ridgway, H.J., et al. 2005. Effect of formulation on the rhizosphere competence and biocontrol activity of *Trichoderma atroviride* C52. Plant Pathology. 54:212-218.
- NIAST. 1998. The analysis of soil and plant. NIAST. Iksan, Korea. (In Korean)

- Reddy, M.S. and Rahe, J.E. 1989. Growth effects associated with seed bacterizatin not correlated with populations of *Bacillus subtilis* inoculant in onion seedling rhizospheres. *Plant Soil*. 66:217-223.
- Ryu, H.S., Shon, M.Y., Cho, S.J., Park, S.K. and Lee, S.W. 2007. Characterization of antibacterial substance-producing *Bacillus subtilis* isolate from traditional *Doenjang*. *J. Korean Soc. Appl. Bio. Chem.* 50(2):87-94. (In Korean)
- Turner, J.T. and Backman, P.A. 1991. Factors relating to peanut yield increases after seed treatment with *Bacillus subtilis*. *Plant Disease*. 75:347-353.
- Yoo, M.J., Lee, J.P., Joo, Y.K. and Kim, D.H. 2009. Analysis of maintenance expense in various golf courses. *Kor. Turfgrass Sci.* 23(1):61-76. (In Korean)
- Yoon, O.S., Kim, S.B., Kim, K.S. and Lee, J.S. 2006. Effects of chitosan on growth responses of creeping bentgrass (*Agrostis palustris* H.). *Kor. Turfgrass Sci.* 20(2):167-174. (In Korean)